

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“IMPLEMENTACION DEL MÉTODO DE INYECCIÓN DE AIRE CON FLUIDO PARA OPTIMIZAR COSTOS OPERATIVOS EN LA PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES PARA LA COMUNIDAD AGRÍCOLA “LA ARENITA”, PAIJAN”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Carlos Alberto Esquivel Diaz
Juan Carlos Argomedeo Jaime

Asesor:

Mg. Ing. José Alvan Rojas Escobar

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a nuestras familias quienes fueron el pilar principal en el transcurso y culminación de nuestra carrera profesional.

A cada una de nuestras parejas por crear en nosotros la iniciativa de tomar esta carrera profesional e incentivarnos al buen habito del trabajo y que todas nuestras acciones deben ir enmarcadas por la honradez.

A nuestros padres por ser un apoyo incondicional en todo momento, que con su amor y sabiduría me encamino por el sendero correcto que es Dios, además me enseñó que con fe, humildad y perseverancia se puede hacer realidad nuestras metas.

Esquivel Díaz, Carlos Alberto
Argomedo Jaime, Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Dar gracias a Dios por brindar salud y fortaleza para salir adelante y culminar nuestros estudios y además lo máspreciado que tenemos, nuestras familias.

Y nuestros más sinceros agradecimientos al Mg. Ing. José Alvan Rojas Escobar, por su incondicional ayuda prestada en el desarrollo de este trabajo.

Así mismo agradecer a la Universidad Privada del Norte y a su plana docente, por haber contribuido en el desarrollo de nuestra formación profesional.

Esquivel Díaz, Carlos Alberto
Argomedo Jaime, Juan Carlos

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Realidad problemática.....	7
1.2. Trabajos Previos	8
1.3. Teorías relacionadas al tema	10
1.4. Formulación del Problema.....	17
1.5. Hipótesis.....	17
1.6. Objetivos	18
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	19
2.1. Tipo de Investigación.....	19
2.2. Población y Muestra	19
2.3. Procedimiento	26
2.4. Aspectos éticos.....	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS	29
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	40
4.1. Discusión	40
4.2. Conclusiones	44
REFERENCIAS.....	48
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Presupuesto de costo según muestra de 5 empresas</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 2: Cotizacion de presupuesto para la perforacion de ozos tubulares.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 3: Comarativo metodo actual y metodo propuesto</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4: Rentabilidad del metodo propuesto</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5: Costo del personal de perforación.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6: Costo del metodo propuesto de perforacion por mes</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7: Egresos en base al metodo propuesto.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8: Flujo financiero</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 9: Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).....</i>	<i>38</i>

RESUMEN

Esta investigación tiene por título Implementación del método de inyección de aire con fluido con la finalidad de determinar la reducción de costos operativos en la perforación en pozos tubulares.

Siendo una investigación básica, teniendo como objetivo mostrar una alternativa de mejora en la perforación para una comunidad agrícola la Arenita en Paján, lo cual se desarrollará con un sistema de equipos y herramientas para enfrentar los problemas y minimizar los costos que se presentan durante la perforación convencional, teniendo como mecanismo la recopilación el análisis de documentos y la comparación de estos dos métodos, obteniendo que el método fluido de perforación con aire disminuyen los costos operativos, que es más eficiente que el método actual, obteniendo como puntos principales 20% más de confiabilidad anual, con una ganancia de $\$. 31\ 800 = \$. 90\ 766.57 - \$. 58\ 966.57$), gracias a que tenemos una mayor velocidad de penetración, mejor limpieza del pozo que nos permite minimizar los tiempos en la construcción y desarrollo, logrando terminar el trabajo en 19 días, todo lo contrario, al método convencional que se requiere de 25 días. Como balance económico se obtuvo una tasa de interés del 10%, se obtuvo un valor presente neto de $\$. 430\ 906.20$ y con un TIR de 17.019% y un costo beneficio de 1.73, el cual hace referencia que este método es rentable para las perforaciones tubulares.

Palabras claves: Optimizar, perforación, tubulares, balance económico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El plan de drenaje de aguas subterráneas que consiste en instalar pozos verticales con bombas sumergibles será de gran beneficio para la población del C.P. la Arenita en Paiján. Que en diversas oportunidades han manifestado su problemática, debido a que las hectáreas de terreno cultivable corren el riesgo de verse afectados, ya que los pozos existentes en la zona no alcanzan el abastecimiento de agua y otros han disminuido su caudal. La agricultura en la zona está creciendo sosteniblemente, debido al dinamismo de la economía y la apertura comercial, encontramos un sector con bajo nivel de desarrollo agrario que debe superarse para aprovechar mejor las oportunidades que se están generando. La perforación de pozos tubulares profundos forma parte de sus metas fijadas con la finalidad de garantizar el normal abastecimiento de agua en la capacidad productora del pozo terminado, para así conocer y seleccionar el equipo de bombeo definitivo, esto va de la mano con el sistema y calidad de perforación implementado, asociado a la responsabilidad operacional y económica.

Durante las experiencias en los pozos perforados registran una constante de problemas, por limitaciones operacionales o por problemas encontrados en los campos de la perforación de pozos de agua, es de suma importancia para nosotros tratar de reducir los problemas presentados en la perforación, esto viene asociado a una optimización en los riesgos operacionales y una disminución de costos. Cuando perforamos convencionalmente estamos expuestos a distintos acontecimientos que pueden encarecer la perforación, tales como:

Perdidas de circulación, trabajos diferenciales, atrapamientos de línea de perforación, baja velocidad de penetración, costosos programas de fluidos de perforación, limpieza no efectiva del pozo. (Perez, 2013)

Estas características atribuidas y comprobadas por la ingeniería de la perforación, son debido a la presión que ejercemos a la línea de perforación (presión hidráulica de la máquina perforadora) así como las pozas de fluidos que se usan en el subsuelo para sedimentar la muestra o detritos extraídos de la perforación el cual no es cien por ciento eficiente, acelerando la contaminación de los fluidos y por ende el retraso de la perforación, así como la alteración al ecosistema y el impacto que se genera en el ambiente. (Saez, 2016)

Ante estos problemas y dadas las condiciones no favorables que se presentan cuando perforamos convencionalmente esta formación, necesitamos de la aplicación de una tecnología en la cual nos garantice la disminución y en el mejor de los casos la eliminación total de todos los problemas encontrados en la perforación convencional, como es la perforación de inyección de aire con fluido de perforación, el cual consiste de trabajar con las presiones de fondo menor a las presiones porales de formación, esta condición es posible debido a las inyecciones de aire aplicada al fluido de perforación.

1.2. Trabajos Previos

Lamb (2017), Afirma que Boartlongyear obtuvo contratos con las mayores operaciones mineras de mineral de hierro en la región de Pilbara en el norte de Australia Occidental, para llevar a cabo la perforación de pozos de agua en sitios mineros activos y futuros. Durante el periodo de un año se perforó 2,300 metros con

diámetros de 17.5 y 20 pulgadas. Los pozos completados alcanzaron profundidades de 250 metros y fueron revestidos con cadenas de producción de 10 a 12 pulgadas.

La geología se encontró incluida, hierro en bandas, gruesas secuencias de mineral mineralizado friable y lulita intercalada con bandas de sílex duras. Estas condiciones cambiantes del terreno fueron manejadas fácilmente por el método circulación inversa inundado (DTFR) y la perforación no se detuvo en ningún momento debido a la pérdida de circulación. Antes del uso del DTFR en la región de Pilbara, se especuló que una broca de triple cono, que se usa típicamente en todos los tipos de perforación de lodo, no sería capaz de manejar las rocas duras asociadas con los depósitos de mineral de hierro. Estas preocupaciones se aliviaron rápidamente con el DTFR.

Van, (2017), En una aplicación de un equipo de perforación en el suroeste de Wyoming EE. UU, ofrece un buen ejemplo del método DTFR (circulación inversa inundada) en ambos frentes. Para crear un pozo de ventilación para una mina subterránea de carbón de pared larga el equipo tenía poco más de cuatro semanas para guiar un trozo de 60 pulgadas hasta una profundidad de 550 pies a través de una desafiante formación geológica que incluía dos acuíferos. Aunque se vio obstaculizados por las demoras en el inicio del proyecto, el equipo lo hizo varios días antes de la fecha límite.

La técnica DTFR, permitió que la inmensa roca penetrara en las zonas pérdidas de circulación que impedían el uso de un equipo de perforación más tradicional.

La técnica bombeo aire a través del tubo interior y forzó el barro y los recortes hacia arriba a través del tubo central, evitando que se obstruyan las formaciones rocosas porosas con estacas, un problema común bajo la alta presión de la perforación convencional. Aunque utilizado con mayor frecuencia para pozos de agua de gran diámetro, la técnica DTFR (circulación inversa inundada) es igualmente adecuada para

las aplicaciones de pozos geotérmicos o de petróleo & gas, así como para pozos de ventilación como el de Wyoming. También se está utilizando para perforar dos pozos de inyección en el centro de Utah en el sitio de la primera instalación de almacenamiento de líquidos de gas natural de la caverna de sal subterránea en la región de las montañas rocosas.

Moreno (2017), en su tesis titulada "Perforación de pozos de petróleo con la técnica no convencional Casing Drilling" publicada por la Universidad Industrial de Santander en Colombia, concluye que la aplicación del método de perforación no convencional Casing Drilling puede llegar a ser la mejor alternativa para desarrollar un campo de petróleo y gas, comparados con los métodos convencionales de perforación, ya que permiten la reducción de los costos globales debido a la disminución de los requerimientos en superficie, tiempos de operación, mayor seguridad en los procedimientos, además se mejora la hidráulica y se disminuyen las cargas. La técnica Casing Drilling proporciona una ventaja competitiva en los pozos de desarrollo ya que permite la optimización en tiempo y costo de la operación siempre y cuando se elabore un adecuado plan de diseño de pozos donde se involucren las condiciones operacionales. La tecnología Casing Drilling es una aplicación que minimiza los problemas operacionales como perdidas de circulación, elimina los eventos de taponamiento de flowline, disminuye costos y mejora los tiempos de perforación, contribuyendo así a la producción temprana de los campos donde sea implementada.

1.3. Teorías relacionadas al tema

Perforación de pozos tubulares

La perforación de pozos tubulares profundos requiere métodos y tecnologías apropiadas, personal habilitado y equipamiento adecuado.

Como consecuencia de la propia naturaleza de los trabajos, las inversiones y riesgos tanto operacionales como financieros, son mayores. En la perforación de los pozos el éxito de los trabajos depende de una serie de factores de orden técnico y geológico, encabezados por la elección del método de perforación adoptado. No debe olvidarse que viéndolo del lado técnico un pozo es una obra de ingeniería hidrogeológica y geológica y no un hueco a través del cual se capta aguas subterráneas (Custódio & LLamas, 1983).

Tipos o métodos de perforación

Son conocidos y empleados varios sistemas de perforación en suelo y rocas (ver imagen anexo 1). Teniendo en cuenta los objetivos para los que se destine la obra en el SAG (Sistema Acuífero Guaraní), estos pueden ser (Fernandez, 2017):

- Sistemas mecánicos:
 - Percusión a cable
 - Saca testigo continuo
- Sistemas con circulación directa de fluido
 - Rotativo con circulación Directa
 - Martillo neumático o Down the Hole
 - Hidráulico
- Sistemas con circulación Inversa de Fluido
 - Rotativo con circulación inversa
 - Rotativo con circulación inversa con barra doble

- Rotativo con circulación inversa con barra doble y martillo

Fluidos de perforación

Los fluidos de perforación, conocidos también como lodos de perforación, constituyen un factor especial dentro de los elementos y materiales necesarios para perforar un pozo. Su diseño y composición se establecen de acuerdo a las características físico-químicas de las distintas formaciones a atravesar. (Pazcona, 2014).

Estos lodos son a base de agua, bentonitas y polímeros de acuerdo con la formación del macizo rocoso y se usan con mucha frecuencia en la industria de la perforación. Las propiedades del fluido seleccionado para la perforación como son: densidad, viscosidad, PH, filtrado, composición química, deben contribuir a cumplir con las distintas funciones del mismo como son: enfriar y limpiar el tricono, acarrear los recortes que genere la acción del tricono, mantener en suspensión los recortes y solidos evitando su asentamiento en el interior del pozo cuando por algún motivo se interrumpa la circulación del fluido, mantener la estabilidad del pozo, evitar la entrada de fluidos de la formación del pozo, situación que podría generar en un pozo una surgencia descontrolada, controlar la filtración de fase liquida a la formación mediante un buen revoque (enlucido de las paredes de la formación), evitar o controlar contaminaciones no deseadas por contacto con distintas formaciones y fluidos (Pacahuala, 2015).

Lodos Aireados

Los fluidos de perforación aireados contienen aire, a causa de la presión hidrostática estos lodos permiten que las fracciones de rocas perforadas estallen dentro del pozo y conseguir de esa forma una alta velocidad de penetración, los

inconvenientes de perdida de circulación se disminuyen con lodos aireados. La desventaja de los lodos aireados es el precio de los grandes compresores solicitados para bombear el aire (Ramírez, 2015).

Propiedades y Características

- **Densidad.** - la densidad se refiere al peso del fluido de perforación y es constantemente referida al peso del lodo, es expresada en libras por galón (ppg) o gravedad especifica (sg), por ejemplo, el agua común pesa 8.33 ppg y tiene una gravedad especifica de 1.0, mientras que el fluido de perforación pesa entre 9 y 16 ppg o más. El peso del lodo es un componente importante en el control de las presiones del subsuelo.

- **Contenido de Sólidos.** - el contenido de solidos se refiere al porcentaje en volúmenes de materias solidas en un volumen de fluidos de perforación. Estos son medidos en lodos de base liquida a través de un proceso de destilación.

La baja y la alta gravedad de solidos son las dos importantes formas que comúnmente se discuten en los taladros.

Los sólidos de alta gravedad son los sólidos densos tales como la barita (4.20 g/cm^3) o la hematita (5.505 g/cm^3) que se adiciona a un fluido para aumentar su densidad.

Y un tipo de solido de fluido de perforación que tiene una densidad menor que la barita y la hematita y que se utiliza para densificar un fluido de perforación es la bentonita que normalmente se asume que los sólidos de baja gravedad especifican tienen una densidad de 2.60 g/cm^3

- **Pérdida de fluido.** - La pérdida de fluido se refiere a la rapidez con que la porción liquida del lodo, filtrada se perderá a través de la barrera permeable. Esto es medido

por un equipo exclusivo que presiona el fluido contra un filtro de papel y mide cuantos milímetros de filtrado, se recoge en 30 minutos, esto se llama cake.

- **Viscosidad.** - La viscosidad es la resistencia del fluido a fluir y es la propiedad habitualmente definida como densidad, la reología es el estudio científico de la viscosidad y ha sido un enfoque para mediciones y definiciones más avanzadas.

Ubicación y vías de acceso de la comunidad agrícola la Arenita en Paiján

El área de estudio se ubica en la costa Norte del Perú, políticamente pertenece al distrito de Paiján, provincia de Ascope, departamento de La Libertad. Hidrográficamente se localiza en la margen derecha del río Chicama, se comunica con la capital de la república a través del panamericano norte (ver imagen anexo 2).

Geología

El área de estudio se caracteriza por encontrarse en las inmediaciones del llano de una cuenca sedimentaria del terciario antiguo, colindante con depósitos aluvionales, de un cauce del cuaternario, que en conjunto tienen un basamento rocoso compuesto por las formaciones volcánico-sedimentarias (grupo zaña, formación chimú y volcánicos Casma), y rocas intrusivas del cretáceo. El área tiene relación con el río Chicama, cabe resaltarse la complejidad geológica y geomorfológica que la caracteriza.

Unidades Estratigráficas

Las unidades estratigráficas que corresponden al área fueron analizadas en base a la información de INGEMMET y dos perforaciones, así como en la información tomada de los pozos en las áreas vecinas; estas son:

Grupo Zaña (JR – z)

Se le observa en la zona de punta de lobos, su composición está dada por rocas andesíticas de color verde oscuro, gris oscuro y negruzco, con intercalaciones de capas delgadas de lutitas negras silicificadas, son de naturaleza impermeable, presumiendo que el área puede formar parte del substrato rocoso impermeable. Yace sobre formaciones no precisadas y subyace a la formación chimú, así como a los depósitos recientes, aluviales y eólicos.

Formación Chimú (Kti – chim)

Se observa también en la punta de lobos, se compone de areniscas y cuarcitas compactas con espesor regional de 1500 m. es de naturaleza impermeable y yace sobre el grupo zaña e infra yace regionalmente a la formación Chicama, a depósitos del terciario (limos, arenas, conglomerados) y a depósitos eólicos.

Formación Volcánico Calipuy (Kti – vca)

Está presente en los cerros yugo y azul, está compuesto por derrames riolíticos, riolacíticos y decíticos muy alterados, con interrelaciones de lutitas conglomerados con un espesor superior a 1450 m. subyace a la formación chimú y otras formaciones rocosas antiguas. Pese a su alteración y fracturamiento es de naturaleza impermeable en profundidad.

Depósitos del Terciario Medio al Cuaternario (Tmp)

Son depósitos sedimentarios que se encuentran cubiertos por arenas eólicas y depósitos aluviales. Se ha logrado detectar estos materiales con las perforaciones que se han venido realizando en la zona, se caracterizan por estar compuestas por arenas limosas con presencia de gravas de color beige a marrón cocoa, su permeabilidad es de media a baja.

Depósitos Aluviales (Qr – al)

Estos materiales en el área son generalmente de cobertura, sin embargo en áreas adyacentes (zonas de cultivo generalmente) adquieren importancia, pues se observa mayor espesor y con una composición aglomerada con matriz areno limosa y con regular permeabilidad. Yacen sobre los depósitos sedimentarios del terciario y subyacen a depósitos eólicos así como a suelos agrícolas.

Depósitos Eólicos (Q – e)

Compuestos por arenas que cubren prácticamente toda la zona estudiada, no tienen ningún grado de cementación, su espesor de acuerdo a las dos perforaciones se ha determinado que varía de 1.5 a 15 m.

Depósitos Fluviales (Q -.fl)

Ubicados en el cauce de las quebradas, su composición es del tipo de gravas arenosas con fragmentos correspondientes a andesitas intrusivas y sedimentarias, su espesor es variable, son de buena permeabilidad, corresponden al cuaternario reciente.

La Napa Subterránea De La Zona

Con la finalidad de analizar el comportamiento hidráulico del acuífero, anteriormente se realizó mediciones puntuales del nivel freático de los pozos que se encuentran en Paiján adyacentes en la zona del proyecto, observándose que el sentido del flujo es de NE-SO y discurre bajo un gradiente hidráulico de aproximadamente 0,5 % a 0,9 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de las diferentes fases, permiten definir que la napa del sector es principalmente del tipo libre, alimentándose continuamente por las infiltraciones de los sectores los Olivos, la Arenita y los Amaya, también de la interconexión hidráulica del río Chicama.

En la zona de Paiján adyacente del proyecto la profundidad de la napa tiene la tendencia de encontrarse entre los 24 m. a 50 m.

El radio de influencia de un pozo en producción es muy importante para evitar la interferencia entre pozos vecinos, de manera que la incidencia en la producción de los pozos sea despreciable. En esta zona los pozos ya existentes tienen un radio de influencia de 310 m. para 24 horas de bombeo sin embargo dada las características del acuífero de esta zona sería conveniente tener un radio de influencia alrededor de 500 m. como mínimo entre pozo y pozo.

1.4. Formulación del Problema

¿De qué manera influirá el método de inyección de aire con fluido sobre los costos operativos en la perforación de pozos tubulares?

1.5. Hipótesis

Hipótesis general

La implementación del método de inyección de aire con fluido de perforación si reduce los costos operativos de perforación en pozos tubulares.

Hipótesis específicas

- La identificación de la situación técnica económica ayudara a resolver los problemas presentados en la perforación convencional de los pozos tubulares.
- Los costos operativos disminuirán con el método de inyección de aire con fluido de perforación
- El análisis técnico económico en función del VAN, TIR, B/C, es factible para el método.

1.6. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Optimizar los costos operativos con el método de inyección de aire con fluido en la perforación de pozos tubulares.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar la situación técnica económica de los problemas presentados en la perforación convencional de los pozos tubulares.
- Demostrar que los costos y riesgos operativos disminuirán con el método de perforación propuesto.
- Realizar un análisis técnico económico en función del VAN, TIR, B/C.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de Investigación

Es aplicada, porque se analizará y verificará la reducción de los costos operativos en cuanto al método de inyección de aire con fluido de perforación en los pozos tubulares.

Descriptiva, porque se recoge los datos de los costos operativos como se presenta en su realidad en el momento dado.

2.2. Población y Muestra

- **Población**
Todos los pozos perforados con el método de inyección de aire con fluido y los perforados con el método convencional.
- **Muestra**
El pozo PBW01 perforado de manera convencional y el pozo PBW02 perforado con el método de inyección de aire con fluido.

2.2.1 Materiales

- **Sarta de línea de perforación matrix (ver imagen anexo 3).**

Tubería de perforación dual. - Son tubos de acero de 7” con diseño de rosca con doble hombro, con peso de 320 kg. C/u por 20 pies (6.10 m.) de longitud, área anular mínima de 4.9 pulg², con un índice de torsión de 15.000 pies/libras (20.340 N/m), índice de tensión de 400.000 lbs (181.437 kg.), usados para transmitir rotación y fluidos al Tricono en la perforación, terminación y reparación de pozos.

Top Sab (barra de transición). – Absorbe efectivamente la torsión de la sarta de perforación y las fuerzas laterales asociadas en la perforación dentro del pozo, aumentando la vida útil de la tubería y minimizara las fallas, esta estratégicamente situada entre el drill collars y la tubería de perforación dual, está fabricada a partir de aleación de acero de alto grado AISI 4145, diámetro 10 ¾", longitud 1m.

Drill collar (tubería pesada). – El drill collars se utilizan para alcanzar el peso correcto de las brocas para maximizar los rangos de penetración y evitar la compresión en la línea de perforación. Están fabricados en acero de aleación de alta calidad AISI correspondiente a 4145, tipo de roca DI-22 y una ranura de alivio de la tensión en la conexión de los tool joints (juntas de herramientas), mediante el funcionamiento las fallas en la sarta de perforación se reducirán al mínimo lo que resulta en un menor costo, su medida es de 6 m. longitud por 12" de diámetro.

Roller rime. - También es fabricada con mayor espesor de pared y con tratamiento especial en acero de aleación de alta calidad, su función es estabilizar las paredes del pozo y darle verticalidad, su medida es de 1.80 m. de longitud por 17" de diámetro.

Estabilizador. - Su función principal es la de mantener la dirección programada del pozo y estabilización del mismo, evitando el pandeo de la sarta de tubería de perforación, ya sea si se va a perforar un pozo vertical o direccional. Se fabrica con tres aletas soldadas o integrales revertidas con insertos de carburo de tungsteno y acero de aleación de alta calidad, su diámetro es de 17 1/8" por 6 m. long.

Bit sub. - Fabricada también con acero de aleación de alta calidad AISI 4145, su función principal es unir al Tricono con el estabilizador es un adaptador de gran resistencia su medida es de 0.50 m de longitud por 12" de diámetro.

Tricono. - Estas brocas poseen este nombre basado en la estructura de corte que usan, el cual consta de tres conos adheridos al cuerpo de la broca los cuales se encuentran

en constante rotación, tienen inserto de tungsteno y acero de alta calidad, el tipo de rosca, diámetro y longitud se encuentran de diferentes medidas de acuerdo al diámetro del pozo a perforar, según los fabricantes recomiendan entre 2000 a 7000 lbs. De peso por pulgada de diámetro del tamaño de la broca (17 ½"), esto varía según las condiciones de perforación de cada taladro.

➤ Componentes del sistema de circulación

En esta área los fluidos y aditivos son recopilados mezclados. Los equipos utilizados son:

- **Tina de fluidos de perforación.** El fluido de perforación es preparado, mezclado y depositado en esta tina con capacidad para 8 000 galones el cual recircula y se mezcla a través de bombas hidráulicas,
- **Desarenadores.** Son conos de poliuretano cuya función es separar el fluido de la sedimentación de solidos finos de la tina, que no fueron controlados por la zaranda.
- **Ciclón.** Es de forma cónica, de acero, revestido interiormente con planchas de caucho para atenuar el impacto de los solidos
- **Zaranda con mallas metálicas.** El fluido cae a través de las mallas vibratorias de la zaranda separando la mayoría de los recortes.
- **Mixer.** Sirve para mezclar los aditivos de perforación.
- **Manguera de descarga.** El fluido y su carga de detritos fluyen hacia la superficie y pasan a través de esta manguera de 8".

➤ Aditivos de perforación

Los aditivos de perforación sirven para ayudar que la perforación sea más eficiente, rápida, segura. Existen para diferentes usos y terrenos a perforar,

- **Bentonita F-GEL.** - para evitar o reducir los derrumbes de la formación en el pozo

- F-PAC RD. - es un controlador de filtrado
- Wáter Control. - es un acondicionador de agua (control de PH del agua)
- F-PLUS RD. - Es un viscosificante y encapsulador de arcillas.
- F-KLAY. - Es un inhibidor de arcillas
- ROD GREASE. - Esto es una grasa para rosca de tubería
- BENTONITA 3/8.- es una bentonita granulada, se usa para realizar el sello, se coloca entre la grava y el sello de cemento ósea sirve de separación entre estos.
- CEMENTO. - sirve para Encementar el casing superficial del ante pozo y para colocar el sello al final de la construcción del pozo en la superficie.
- RINGFREE. - esto se usa para diluir el fluido de perforación impregnado en la formación durante la perforación para permitir que el agua fluya desde los acuíferos de la formación.

➤ CONSTRUCCIÓN DEL POZO

- **Tubería de revestimiento o casing.** - Es una tubería de acero inoxidable 304L, que es ciega y ranurado de 12"x6mmx6m.
- **Máquina de soldar.** - Esto es una moto soldadora Lincoln de 500 amp.
- **Filtro.** - Es una gravilla de 3 -5 mm, que debe ser colocada en el espacio anular entre el taladro vertical y la tubería de revestimiento especialmente en el tramo del ranurado. Su función es evitar que los sedimentos de la formación entren a la tubería de revestimiento ranurado.
- **Tubería BQ.** - Es una tubería de acero de 55.60 mm de diámetro exterior por 3 m de longitud, se utiliza para encementar el ante pozo, para asegurarnos que el sondaje de producción está abierto hasta el fondo y para engravillar el pozo en

forma ascendente desde el fondo hacia la superficie de manera homogénea, no permitiendo el atascamiento de la grava en distintas partes de la formación.

- **Swat.** - Es una especie de pistón obturador que se usa como un tipo de acción inyectora para permitir que en el proceso de desarrollo mueva agua, en un área designada a lo largo del tramo de los casing ranurados en el pozo.

2.2.2 Instrumentos

- **Máquina perforadora.** - Es una maquina modelo LM 120-LAN, hidráulica motor modelo 3408 Caterpillar, motor mecánico V8-92 TA Detroit diésel, torque de 6000 psi con capacidad de levante de 120.000 lbs. Para realizar perforaciones de pozos de agua hasta 500 m. con broca de 17 ½” a 24” (ver imagen anexo 4)
- **Camión grúa.** - Con capacidad de 12 Ton. Modelo HIAB 377.
- **Torre de iluminación.** - Terex RL400, usada para el alumbrado de turno noche.
- **Camioneta.** - Traslado de personal Toyota Hilux 4x4.

2.2.3 Métodos

Desarrollo de la metodología de la perforación con inyección de aire y fluidos

Se comienza utilizando una barra de peso y un tricono de 24” para el casing superficial de 20” para el ante pozo, se iniciará a perforar hasta los 18 metros o avanzar un poco más de acuerdo a las condiciones del terreno, luego se retira la barra de peso y el tricono y se baja casing de acero de 20” y tubería BQ en el anillo exterior del casing para permitir un trabajo de cementado desde abajo hacia arriba del casing. Se prepara en el Mixer la lechada a base de cemento y agua, se bombea el lote de cemento fresco para lograr un buen sellado y estabilidad del casing, se deja fraguar no menor de 12 horas.

Luego de colocado el casing de superficie se iniciara la perforación del pozo de producción con tricono de 17 ½", siempre considerando el diámetro ideal para bajar el casing de construcción, la línea de BQ y la distancia en el área anular para poder engravillar y mantener el pozo libre para el filtrado, con este método de perforación de inyección de fluido con aire se pondrá el tren de herramienta en tensión durante la perforación del pozo de manera que actúe como péndulo para lograr la rectitud en el pozo, si bien las herramientas específicas dependen de la formación y el tamaño del orificio que se necesita, siempre implica tuberías de doble tubo, barras de peso, escariadores de rodillos (Roller rime), estabilizadores y una broca triconica. Esta configuración única permite un orificio recto y un diámetro uniforme en una sola pasada. Este sistema posibilita que los fluidos bajen y generen estabilidad en las paredes del pozo produciendo una presión hidrostática sin poner presión extra en la formación a diferencia del sistema convencional que tiene tendencia a ejercer mayor presión hidrostática y producir perdidas de circulación y colapso del pozo.

Al alcanzar la perforación de la profundidad total del pozo se hará circular fluido menos denso y viscoso para proporcionar estabilidad y pensando también en la construcción y desarrollo de este. Una vez terminado se retira toda la sarta de tubería de perforación quedando listo para su construcción (bajado de casing inox, Engravillado).

Colocación de Casing

Se empieza bajando primero el BQ hasta la profundidad perforada. Existen dos motivos para usar esta tubería: uno es para asegurarse que el sondaje de producción está abierto hasta el fondo y el otro es para que nos permita engravillar desde la superficie en forma homogénea desde abajo hacia arriba. Una vez fijado la tubería BQ se iniciará a bajar el casing inox de producción uno por uno soldado y en concordancia con el diagrama de

construcción del pozo, una vez encontrándose el casing en la profundidad deseada, se sujetara con lengüetas de acero para iniciar el relleno de grava.

Colocación del filtro (grava)

Se empieza bombeando agua a través del BQ , para asegurarnos que no se haya obstruido así mismo asegurar la viscosidad deseada que por sedimentación del fluido en el pozo sin circulación cuando se colocó el casing haya aumentado, para que la grava pueda bajar sin problema. Luego se procederá a inyectar la grava de 3-5 mm, siempre asegurando el registro de la profundidad de acuerdo con la cantidad de grava colocada y en concordancia con el diagrama de construcción, cuando se ha completado el relleno con grava, se colocarán los sellos del pozo con bentonita 3/8 y posterior el sello de cemento dando por finalizado la etapa de construcción.

Desarrollo de pozo

Una vez terminado con el proceso de construcción damos paso al desarrollo del mismo, que consiste en bajar la tubería de perforación matrix de 7" hasta el fondo del pozo una vez abajo toda la tubería se procede a inyectar por el centro de la tubería el ringfree mezclado con agua se llena el casing de producción hasta la altura del ranurado, y se deja reposar 24 horas para su reacción, este producto diluye los residuos de fluidos de perforación impregnados en la formación, para permitir que el agua fluya desde los acuíferos de la formación del pozo.

Una vez terminado el proceso de reposo de reacción del ringfree se retiran las barras para colocar el swat en el inicio de la primera barra y se baja todas las barras hasta el fondo del pozo, este es una especie de pistón que se usa como un tipo de acción inyectora para permitir que en el proceso de desarrollo mueva agua en un área designada a lo largo del

tramo de los casing ranurados en el pozo, la acción de succión creada con el movimiento de aire y agua dentro del área contenida dentro del obturador estando en movimiento ascendente, crea un vacío en el agua del casing para que fluya a través de la grava permitiendo que fluya también a través de fracturas, cuando el obturador está en movimiento hacia abajo, la acción empuja el agua hacia la formación permitiendo una acción inyectora en la formación para un buen lavado del pozo.

En medio de los cauchos del swat, el agua es continuamente aspirada por las barras y regresada al tanque en la superficie, allí es donde el agua es recolectada y testeada por partículas y color. El color y porcentaje de partículas se prueba en un cono imhoff transparente (sedimentador de arena) que se llena y se deja reposar por unos 5 minutos y se verificara el color y la cantidad de partículas sólidas que se encuentran en el agua, esta acción se llevara a cabo en todos los ámbitos del ranurado de todo el pozo.

Una vez que son limpiados, se retira el swat del pozo y se volverá a bajar las barras libres hasta el fondo del pozo, esto permitirá tomar una lectura estática del pozo, hacer un retroceso o descenso del agua y prueba de recuperación. Esta información se reunirá para determinar el adecuado tamaño de bomba para la prueba de bombeo del pozo.

Luego se permite el ingreso del aire al fondo del pozo, se limpia los desechos que usualmente es arena sedimentada en el fondo del pozo, quedando limpio se procede a retirar las barras del pozo y se completara la superficie de acuerdo a los requisitos del cliente.

2.3. Procedimiento

Para desarrollar este trabajo fue necesario seguir una serie de etapas las cuales se explican a continuación:

Etapla 1. Se realizó la búsqueda, recopilación y revisión de toda información sobre perforaciones de pozos de agua que represente material de apoyo como: libros, tesis,

manuales de perforación, páginas de internet u otra fuente de información que permita conocer el proceso de perforación, como se muestra a continuación.

Etapas 2. Obtención de la información y experiencias propias de los pozos perforados anteriormente en la zona de Paiján y en diversos asentamientos mineros permitió la descripción del proceso de perforación con aire y fluido con el fin de establecer comparación entre los conocimientos teóricos y el proceso operacional de perforación con el sistema convencional y establecer el entendimiento de los factores involucrados en el uso de esta técnica.

Etapas 3. Se determinó los parámetros de perforación obtenidos, efectividad de perforación, costos y eficiencias obtenidas.

Etapas 4. Se analizó toda la data obtenida en los pasos anteriores, luego se realizó las conclusiones y recomendaciones.

2.4. Aspectos éticos

Entre los principales principios éticos que desempeñan en esta investigación, por parte de los investigadores, son:

- a. **Responsabilidad:** En el cumplimiento de los horarios para las entrevistas y en la presentación puntual del trabajo de investigación; así como en las decisiones que se tomaran.
- b. **Integridad:** En todos los datos obtenidos, así como en la información recopilada por los diferentes instrumentos de recolección de datos (documentos, entrevistas experiencias propias), como la confidencialidad de los trabajadores y gerente.
- c. **Honestidad:** En los datos que se recopilaran, llevando su veracidad según la situación actual de la empresa.

- d. Profesionalismo:** En las prácticas, comportamientos y actitudes que se rigen por las normas preestablecidas del respeto, la mesura, la objetividad y la efectividad en la actividad que se desempeñe.
- e. Respeto:** Se respeta la propiedad intelectual, por ello se cita correctamente utilizando las Normas APA.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Data Obtenida y Análisis de Resultados

Durante este proceso se recopiló información acerca de los pozos perforados en la zona de Paiján adyacentes al proyecto, que están conformados por lutitas arenosas, arcillas y conglomerados, con pérdidas masivas de fluidos de perforación y a su vez tienen una marcada inestabilidad de las paredes del pozo. Visto que en algunas partes de las áreas se obtuvieron indicaciones geofísicas interpretables como presencia de un acuífero profundo, se programaron perforaciones profundas de pozos de producción y así mismo aprovechar la exploración del mismo que tienen que ser llevadas hasta el basamento rocoso del relleno aluvial, proporcionándonos la litología del sub suelo a profundidades mayores de las conocidas hasta el presente por las perforaciones ya realizadas, dado que el material perforado no es homogéneo y está compuesto por una mezcla de arcilla, arena, cantos y grava, se puso especial atención en la toma y conservación de muestras de modo que fueron representativas de la composición litológica del subsuelo, para así conocer la localización de acuíferos profundos, conocimiento de las capas y delimitación de nuevos acuíferos, para una mayor producción y vida útil del pozo.

Empezamos con la descripción del primer pozo perforado pozo PBW01.

Pozo PBW01.- El pozo se perforó de forma convencional con fluido a base de agua y aditivos como bentonita y polímeros.

Se usó un dispositivo mecánico llamado bomba de lodos, que se utiliza para introducir el fluido a medida que se adelanta la perforación. Se instala en uno de los extremos de la posa de lodos, es importante la instalación de esta máquina ya que con ella se va acondicionar el pozo con fluido y así evitar derrumbes o alguna obstrucción en el pozo mientras se opera en él. Así mismo va a proteger la circulación del fluido que extrae la broca con los detritos evitando un colapso en las paredes del pozo.

Este sistema está compuesto por:

- Dos pozas excavadas en el terreno
- Bomba manual de lodos
- Manguera para inyección de lodo

Se recomienda para este tipo de trabajo extracción manual un operario para accionar la bomba de fluidos mientras el perforista realiza la rotación durante la perforación.

El pozo se perforó con una broca tricono de 24" para el ante pozo, hasta los 18 m. se revistió con casing de 20", posteriormente se cambió la broca a 17 ½" llegando a la profundidad de 180 m. de manera convencional.

En las perforaciones practicadas el material a perforar era de naturaleza aluvial; se han encontrado especialmente arenas, arenas limosas y arcillosas, gravas arenosas y arenas con grava, con porcentajes variables de cantos, así como bloques grandes (ver cuadro anexo 5 y 6).

La presencia de un alto porcentaje de elementos grandes cantos y bloques, dificulta la perforación, especialmente cuando se trabaja con grandes diámetros.

Los cantos compuestos de cuarcitas y rocas eruptivas, provocan un desgaste muy rápido de la broca.

Las arenas limosas y arcillas facilitan un avance bastante rápido del trabajo pero exige de mayor cuidado.

Durante la perforación se presentó pérdidas significativas de fluido, mínima velocidad de perforación y constantes atascamientos debido a la presión diferencial por terreno inestable, así como se produjo mayor impacto ambiental sobre el área de ejecución de los trabajos. (ver cuadro anexo 7 y 8).

Así mismo durante la construcción del pozo se observó una sedimentación de material de 20 m. debido a la poca limpieza que se obtiene durante la perforación aplicando este sistema, cuando más nos vamos profundizando en la perforación, la recuperación de muestra y limpieza del pozo se ve reducida, es lo que generalmente pasa con este sistema de perforación convencional.

Con la finalidad de determinar la capacidad productora del pozo terminado, se realizó pruebas de rendimiento durante el bombeo, se obtuvieron datos de la prueba de aforo, el pozo tubular terminado ha quedado con las siguientes características el cual se observa en el cuadro. (ver cuadro anexo 9)

Pozo PBW2.- Se inició perforando convencionalmente el ante pozo con una broca de 24" los primeros 18 m. hasta alcanzar la sumersión para poder continuar con el sistema de inyección de aire y fluido sin ningún problema, esto debido a que en la zona los primeros 10 a 15 m. tenemos terreno suelto como es la arena eólica y no se requiere generar un socavón en la superficie por presión de aire.

Durante la perforación como en el pozo anterior se encontró material de naturaleza aluvial, especialmente arenas, arenas con limos y arcillas, gravas arenosas y arenas con grava, con gran variedad de cantos, así como bloques grandes (ver cuadro 10 y 11).

Se revistió el ante pozo con casing de 20” posteriormente se cambió a la técnica de aire y fluido de perforación, el fluido usado fue a base de agua, bentonita y polímeros, luego se perforo con una broca de 17 ½” llegando a la profundidad de 180 m. Durante la perforación con fluido y aire no se observaron pérdidas significativas de fluido, mejorando las condiciones operativas y manteniendo los parámetros de perforación estables (ver cuadro anexo 12 y 13)

Entre los principales criterios que se analizaron para el uso de esta técnica de fluido con aire tenemos.

- Obtener recirculación de fluido más limpio y con menos sedimento
- Obtener velocidades anulares mucho más altas que la convencional
- Mejor recuperación de muestra

Durante la aplicación de esta técnica se enfrentó a muchos desafíos y retos obteniendo resultados en los siguientes puntos.

- Mantener la circulación del pozo y tener continuidad en el desarrollo de la perforación.
- Reducir y eliminar las pérdidas de fluido.
- Reducir y eliminar los atrapamientos.
- Aumentar la velocidad de perforación.
- Reducir los tiempos no productivos.

- Producir el menos impacto ambiental posible sobre el área de ejecución de los trabajos.
- Incremento en la vida de la broca.

La verticalidad es muy importante en la perforación de un pozo de agua y este sistema te garantiza esa verticalidad que está referida a su posición respecto a la de la plomada, mientras que el alineamiento se refiere a su relación con una línea recta. Las desviaciones en la verticalidad y en el alineamiento fundamentalmente en las perforaciones de más de 100 m. pueden derivar en el primer caso, en inconvenientes para la colocación del casing inox de producción y en el segundo caso, para la instalación y el funcionamiento de la bomba. Los factores que inciden en la desviación de un pozo pueden ser naturales, como las características geológicas del sub suelo o artificiales como la forma de perforar, el equipo y tipo de herramienta empleado.

Durante la construcción no se presentó derrumbes o caídas de formación, se obtuvo continuidad en el desarrollo de la perforación, y además se obtuvo mejor capacidad productora del pozo terminado, durante las pruebas de rendimiento, quedando el pozo tubular terminado con las siguientes características (ver cuadros anexo 14).

El sistema de perforación de aire con fluido es un sistema cerrado al combinarlo con un sistema de inyección de cortes y un sistema cerrado de tanques de fluido, cualquier yacimiento se puede perforar de forma segura utilizando este sistema que durante el proceso de perforación nos proporciona beneficios medio

ambientales y económicos, obteniendo mayor rendimiento de los pozos y además asegura a estos una vida útil más prolongada, lo contrario al sistema convencional que se altera el ecosistema con la excavación de pozos para el depósito de los fluidos y se maximiza los costos operacionales.

Los beneficios obtenidos con esta técnica de fluido y aire permiten reducir los problemas de la perforación durante la operación y una mayor recuperación en la producción y aumenta la viabilidad económica del pozo, lo que resulta en ganancias más rápidas para los pozos.

3.2. Análisis de costos

Se han recolectado cinco presupuestos para poder realizar un promedio entre estos y tener una referencia del costo necesario por cada metro lineal de perforación, así mismo se escogió el menor presupuesto el cual se detalla a continuación.

a) Presupuestos de costos de 5 empresas

Tabla 1: Presupuesto de costo por metro lineal según muestra de 5 empresas

Empresa	Costo total \$.	Profundidad (mts)	Costo/MI \$.
Empresa 1	\$ 270 920,00	180	\$ 758.00
Empresa 2	\$ 278 211,76	180	\$ 780.00
Empresa 3	\$ 305 360,00	180	\$ 820.00
Empresa 4	\$ 267 559,00	180	\$ 750.00
Empresa 5	\$ 290 630,00	180	\$ 800.00
Promedio de Costo por metro lineal		180	\$ 782.00

b) Cotización para pozos tubulares

Tabla 2: Cotización propuesto para la perforación de pozos tubulares

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio Total
Movilización y desmovilización de equipos	\$ 5 000.00	02	\$ 10 000.00
Perforación de Antepozo 24" 18m	\$ 650.00	18	\$ 11 700.00
Suministro de tubería casing Antepozo de 20"	\$ 130.00	18	\$ 2 340.00
Instalación de tubería casing Antepozo de 20"	\$ 40.00	18	\$ 720.00
Encementado y fraguado de casing de Antepozo	\$ 30.00	18	\$ 540.00
Perforación de 17 ½ a partir de los 18m	\$ 750.00	162	\$ 121 500.00
Suministro de tubería de producción inox ciegos 12"	\$ 1 390.00	16	\$ 22 240.00
Instalación de tubería inox ciegos de 12"	\$ 68.00	16	\$ 1 088.00
Suministro de tubería de producción inox ranurado 12"	\$ 1 430.00	11	\$ 15 730.00
Instalación de tubería ranurado inox de 12"	\$ 68.00	11	\$ 748.00
Suministro de grava de 2-4 mm	\$ 750.00	15 M3	\$ 11 250.00
Instalación de grava de 2-4 mm	\$ 50.00	15 M3	\$ 750.00
Desarrollo o lavado de pozo por pistoneo mecánico	\$ 500.00	120 horas	\$ 60 000.00
Pruebas de Airlif	\$ 400.00	04 horas	\$ 1 600.00
Fabricación de dado de concreto sello	\$ 300.00	01	\$ 300.00
Fabricación de capuchón de Seguridad con candado	\$ 300.00	01	\$ 300.00
Total			\$ 267 559.00

c) Cuadro comparativo del método actual y el método propuesto.

Tabla 3: Comparativo del método actual (25 días)
Y el método propuesto (19 días)

Definición	Método actual		Método Propuesto	
Capacidad de diámetro en perforación	17 ½ Pulg		17 ½ Pulg	
Capacidad de profundidad en perforación	180 m		180 m	
Confiabilidad anual	60%		80%	
Consumo de combustible Diésel por pozo	7 500 gal	\$ 17 142.86	5 700 gal	\$ 13 028.57
Costo de operación por pozo	Personal (25 d.)	\$ 10 238.00	Personal (19 d.)	\$ 7 780.86
	Alimentación 25 día*10 pers.	\$ 1 785.71	Alimentación	\$ 1 357.14
	Desarrollo de pozo	\$ 60 000.00	Desarrollo de pozo	\$ 36 000.00
	Pruebas de Airlift	\$ 1 600.00	Pruebas de Airlift	\$ 800.00
	Tiempo de instalación promedio en horas	606.5 horas 25 días	Tiempo de instalación promedio en horas	446 horas 19 días
	TOTAL	\$ 90 766.57	TOTAL	\$ 58 966.57

d) Rentabilidad del método actual y el método propuesto

Tabla 4: Rentabilidad del método propuesto

Descripción	Total, de costo de operación por pozo
Método actual (convencional)	\$ 90 766.57
Método propuesto (inyección de aire y fluido)	\$ 58 966.57
Total, de rentabilidad por el método propuesto	\$ 31 800.00 35%

e) Gasto que se realiza por personal

Tabla 5: Costo del personal de perforación 2 turnos (día/noche)/mes

Personal	N° de Pozo	N° de personas	P. Unit	P. Total
----------	------------	----------------	---------	----------

Supervisor de operaciones	01	02	S/. 7 000.00	S/. 14 000.00
Perforistas	01	02	S/. 5 000.00	S/. 10 000.00
Ayudantes	01	04	S/. 3 000.00	S/. 12 000.00
Operador de grúa	01	02	S/. 3 500.00	S/. 7 000.00
	TOTAL	10		S/. 43 000,00
			Total, dólares	\$ 12 285.71

f) Costos del método propuesto

Tabla 6: Costo del método propuesto de perforación por mes

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio Total
Movilización y desmovilización de equipos	\$ 5 000.00	02	\$ 10 000.00
Máquina Perforadora	\$ 20 000.00	01	\$ 20 000.00
Grúa	\$ 5 211.43	01	\$ 5 211.43
Combustible	\$ 2.29	5 700 glns	\$ 13 028.57
Bomba de lodos	\$ 3 000.00	01	\$ 3 000.00
Suministro de tubería casing Antepozo de 20"	\$ 130.00	18	\$ 2 340.00
Suministro de cemento	\$ 7.14	82	\$ 586.00
Compresora 750 cfm/350 psi	\$ 3 000.00	01	\$ 5 000.00
Tricono, accesorios etc.	\$ 15 000.00	01	\$ 15 000.00
Suministro de tubería de producción inox ciegos 12"	\$ 1 390.00	16	\$ 22 240.00
Suministro de tubería de producción inox ranurado 12"	\$ 1 430.00	11	\$ 15 730.00
Suministro de grava de 2-4 mm	\$ 750.00	15 M3	\$ 11 250.00
Pernos, bujes, conectores, sellos, soldadura etc.	\$ 2 500.00	01	\$ 2 500.00
Mantenimiento	\$ 800.00	01	\$ 800.00
Sueldo de personal	\$ 7 780.86	01	\$ 7 780.86
Alimentación, viáticos	\$ 1 357.14	01	\$ 1 357.14
Total de inversión inicial			\$ 135 824.00

g) Egresos

Tabla 7: Egresos en base al método propuesto en 19 días de trabajo

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio Total
Movilización y desmovilización de equipos	\$ 5 000.00	02	\$ 10 000.00
Máquina Perforadora	\$ 12 666.67	01	\$ 12 666.67
Grúa	\$ 5 211.43	01	\$ 5 211.43
Combustible	\$ 2.29	5 700 glns	\$ 13 028.57
Bomba de lodos	\$ 1 900.00	01	\$ 1 900.00
Suministro de tubería casing Antepozo de 20"	\$ 130.00	18	\$ 2 340.00
Suministro de cemento	\$ 7.14	82	\$ 586.00
Compresora 750 cfm/350 psi	\$ 3 166.66	01	\$ 3 166.66
Tricono, accesorios etc.	\$ 7 500.00	01	\$ 7 500.00
Suministro de tubería de producción inox ciegos 12"	\$ 1 390.00	16	\$ 22 240.00
Suministro de tubería de producción inox ranurado 12"	\$ 1 430.00	11	\$ 15 730.00
Suministro de grava de 2-4 mm	\$ 750.00	15 M3	\$ 11 250.00
Pernos, bujes, conectores, sellos, soldadura etc.	\$ 2 500.00	01	\$ 2 500.00
Mantenimiento	\$ 800.00	01	\$ 800.00
Sueldo de personal	\$ 7 780.86	01	\$ 7 780.86
Alimentación, viáticos	\$ 1 357.14	01	\$ 1 357.14
Total de inversión inicial			\$ 118 057.00

h) Cálculo de rentabilidad

Tabla 8: Flujo financiero

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Inicial	\$ 135 824.00					
Total, de Egreso		\$ 118 057.00	\$ 118 057.00	\$ 118 057.00	\$ 118 057.00	\$ 118 057.00
Total, de ingreso		\$ 267 559.00	\$ 267 559.00	\$ 267 559.00	\$ 267 559.00	\$ 267 559.00

Tabla 9: Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Tasa de interés		10%
Años	Flujo efectivo neto	Valor presente
0	\$ -135 824.00	-135 824.00

1	\$.	149 502.00	135 910.91
2	\$.	149 502.00	123 555.37
3	\$.	149 502.00	112 323.07
4	\$.	149 502.00	102 111.88
5	\$.	149 502.00	
Valor presente neto (VPN)		S/.	430 906.20
Tasa interna de retorno (TIR)			17.019%
B/C			1.73

El objetivo de optimización de prácticas operacionales en la perforación de pozos tubulares, para la reducción de tiempo no productivo y de tiempo invisible, se halló como resultados que la sección que registró mayores tiempos de desarrollo de las tareas fue la perforación (8 m por turno), que con el método propuesto se logró a aumentar (11 m por turno 6 más por día considerando los dos turnos), durante la construcción el bajado de casing superficial inox de 12" (mayor 8 horas), el reposo y agitado (mayor 12 horas), desarrollo de pozo (mayor 48 horas) y las pruebas de airlif (mayor 2 horas) que con el método propuesto se logró optimizar dichos tiempos (ver anexo 8 y 13).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la investigación cabe mencionar que, el método de inyección de aire con fluido, es para disminuir los costos y los problemas que se presentan en la operación, en primer lugar, se ha realizado una recopilación de toda la data obtenida durante la investigación y experiencias propias de trabajos realizados anteriormente, comprender el método del funcionamiento de ambas técnicas, compararlas y determinar la propuesta de mejora para optimizar los costos durante la operación de perforación de los pozos tubulares en la comunidad la Arenita en Paiján, además, conocer y entender los componentes; se ha extraído la información de fuentes, también de entender la serie de procesos de funcionamiento y operación de cada uno de los componentes de la perforadora, asimismo saber las especificaciones técnicas de cada elemento.

Se planteó la implementación del método de inyección de aire con fluido, este proceso consiste en la inyección del fluido por fuera de la sarta de perforación bajando por gravedad hacia el fondo del pozo, así mismo se trabajará con la presión de fondo menor o balanceada a las presiones porales de formación, esto es posible debido a la continua inyección de aire aplicada al fluido de perforación. Al usar este método de perforación el fluido retorna dentro del doble tubo por el centro y no puede escapar hacia la formación como en el método convencional que los mantiene en la superficie y los hace circular por todo el pozo manteniendo contacto con la formación, este método permite que la perforación tenga lugar con los fluidos del pozo en su nivel natural.

Esto acorta el tiempo total en que el agujero está abierto y disminuye el riesgo de colapso e inundación de la formación, no solo es más efectivo, sino que también minimiza el tiempo de desarrollo y maximiza la eficiencia del pozo.

El sistema de perforación de aire con fluido es un sistema cerrado al combinarlo con un sistema de inyección de cortes y un sistema cerrado de tanques de lodo, cualquier yacimiento se puede perforar de forma segura utilizando este sistema que durante el proceso de perforación nos proporciona beneficios medio ambientales y económicos, lo contrario al sistema convencional que altera el ecosistema con la excavación de pozos para el depósito de los fluidos y se maximiza los costos operacionales. El objetivo de aplicar este sistema de fluido con aire es maximizar la producción, reducir los costos operacionales y minimizar los problemas presentados durante la perforación.

En muchos casos no se tiene en cuenta el proceso de elección del método de perforación por lo que se pone en riesgo una correcta ejecución del proceso de perforación y construcción así como la capacidad productora del pozo, generando retrasos, pérdidas económicas e incluso todo lo que se haya avanzado en la socavación, es por ello por lo que se está incluyendo dicho proceso de perforación con aire y fluido el cual nos va a asegurar minimizar los problemas que se presentan cuando perforamos, y reducir los costos durante la operación.

Además con este sistema nos asegura la verticalidad del sondaje por que se usa un ensamblaje único de fondo de barras pesadas que nos proporciona el peso necesario para manejar la presión ejercida sobre el tricono con eficacia y con esto maximizar la vida útil de esta, así como tener mejor lectura de la formación del taladro, no tener problemas

durante la construcción del pozo y durante el descenso de la bomba por lo cual nos permitirá tener una mejor recuperación de agua durante las pruebas, que nos permitirá determinar el adecuado tamaño de bomba para el pozo.

Durante este proceso la información referente de cinco empresas de perforación nos permitió comparar el método convencional con el método de inyección de aire con fluido. Para obtener una evaluación económica positiva pudiéndose determinar que el uso de la técnica de inyección de aire con fluido es viable su implementación, y se logrará cuantificar el beneficio económico que generará el mismo en el momento que va a hacer implementado.

Cabe mencionar que la operación que demandaron mayor tiempo con el sistema convencional fueron las de perforación, la reposición del fluido por las pérdidas significativas que se presentaron usando este sistema, así mismo durante la construcción y desarrollo del pozo demandaron más tiempo para su ejecución, en este caso en el bajado de casing de producción inox de 12” fue más lento debido a la poca efectividad de acondicionamiento y limpieza que tiene este sistema, los fluidos más densos y el alto contenido de sólidos en el pozo. Esto perjudicó en demandar más tiempo en el reposo y agitado desarrollo del pozo y en las pruebas de airlift, en el cual los tiempos son considerados no productivos y generadores de más costos.

Para evaluar los problemas que se presentan cuando perforamos de manera convencional y los tiempos perdidos que genera este sistema, se compararon los pozos perforados en la zona de Paiján adyacente al proyecto, el PBW01, que se perforó de manera convencional tomando 10 días para llegar hasta la profundidad de los 180 m. con

considerables pérdidas de circulación total y parcial de fluidos donde se vieron reflejados en tiempos no productivos y riesgos de pegas y atrapamientos.

El pozo PBW02, se perforó utilizando la técnica de inyección de aire y fluido que se logró perforar desde los 18 m. y llegar a los 180 m. en 7 días, sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pegas, atrapamientos o tiempos no productivos, mejorando la eficiencia y reduciendo los riesgos en la perforación y a la vez optimizando el costo de este pozo.

El fluido circula en el anillo en condiciones de presión ambiente reduciendo el tiempo de desarrollo. El barro residual se elimina fácilmente de la pared del anillo durante el desarrollo. Además de una eliminación de lodo más rápido y completa, la cantidad de agua de descarga administrada en la superficie se reduce debido a la reducción en el tiempo de desarrollo, obteniendo mayor velocidad de penetración y reduciendo los tiempos durante la perforación.

Cabe mencionar que el método propuesto genera una reducción de costos operativos y una mejor eficiencia en la perforación; teniendo como puntos principales 20% más de confiabilidad anual, ahorrando \$. 31 800.00 (\$. 90 766.57 – \$. 58 966.57), un 35%, esto debido a los tiempos no productivos generadores de costos que no se vieron reflejados con este sistema de fluido e inyección de aire. Según Moreno (2017), menciona que es una ventaja competitiva en los pozos de desarrollo ya que permite la optimización en tiempo y costo de la operación siempre y cuando se elabore un adecuado plan de diseño de pozos donde se involucren las condiciones operacionales.

En cuanto a lo económico, con una tasa de interés del 10%, se obtuvo un valor presente neto de \$. 430 906.20 y con un TIR de 17.019% y un costo beneficio de 1.73, el cual hace referencia que este método es rentable para las perforaciones tubulares.

Así mismo la perforación de todo nuevo pozo en las áreas y en sus alrededores tiene que ser seguida cuidadosamente, tanto desde el punto de vista geológico como hidrológico para llegar a un conocimiento lo más complejo posible de la configuración de los acuíferos.

4.2.Conclusiones

Se puede concluir que el método de inyección de aire con fluido disminuye los costos y riesgos operativos y es más eficiente que el método convencional, se emplea obteniendo como puntos principales 20% más de confiabilidad anual, ahorrando \$.31 800.00 (\$. 90 766.57 – \$. 58 966.57). Un 35%, esto debido a los tiempos no productivos generadores de costos que no se vieron reflejados con este sistema de fluido e inyección de aire. Esta técnica mostró ser una herramienta muy efectiva para mitigar y eliminar las pérdidas totales o parciales de circulación de fluido en formaciones altamente fracturadas y reducir los costosos programas en aditivos de perforación.

Cabe mencionar que la operación demandó mayor tiempo con el sistema convencional fue la de perforación, con un avance de 8 m por turno que con el método propuesto se tuvo un avance de 11 m por turno, 3 m más por turno y 6 m por día considerando los dos turnos día y noche. La demora fue por la reposición del fluido, por las pérdidas significativas que se presentaron, derrumbes, atascamientos etc. usando este sistema convencional.

Así mismo durante la construcción y desarrollo del pozo demandaron más tiempo para su ejecución, en este caso en el bajado de casing de producción inox de 12" fue más lento

debido a la poca efectividad de acondicionamiento y limpieza que tiene este sistema convencional, los fluidos más densos y el alto contenido de sólidos en el pozo. Esto perjudico en demandar más tiempo en el reposo y agitado, desarrollo del pozo y en las pruebas de airlift, tiempos considerados no productivos y generadores de más costos, que con el método propuesto se logró corregir todos los problemas presentados con el método convencional y optimizar dichos tiempos.

Así mismo se vio reflejado muchas ventajas para optimizar las pérdidas operacionales durante las perforaciones ya que al minimizar estas pérdidas que se presentan durante la operación, vamos a reducir considerablemente todos los problemas, viéndose reflejado en la optimización de los costos durante todo el proyecto.

Demostrándose que con este método el retorno de corte es más rápido, los esquejes no se mezclan con el anillo, eliminando la contaminación y reduciendo los derrumbes anulares o el ensanchamiento del orificio, casi nunca se pierde el lodo y puede reemplazarse durante la perforación sin la necesidad de detenerse.

El sistema de fluido es un circuito cerrado, y el agua de la formación no es un problema, la descarga es casi nula lo que hace que la gestión de agua no sea un problema.

Además, se obtiene con este método menos del 1 % de desviación del agujero, quedando verticalmente el pozo sin tener problemas al momento de la construcción de este y al instalar la bomba.

Se observa claramente las ventajas de este método para el tipo de suelo para el que puede ser empleado. Este sistema de perforación de aguas subterráneas de acuerdo a los aspectos legales de explotación de este material no genera ningún problema de mayor importancia, es uno de los sistemas con la metodología más fácil de aplicar, con grandes

ventajas de mejoras en cuanto a los sistemas de bombeo para la extracción del agua y mejoras constantes de brocas para la perforación, al tener en cuenta los gastos de mano de obra para los estudios para la perforación y la instalación de los accesorios y equipos en la etapa de perforación, no se consideran sean un problema al compararlos respecto a la importancia técnica y el bajo costo de operación que esta genera.

Un pozo bien perforado y terminado garantiza este sistema de perforación de inyección de aire con fluido con un buen rendimiento, se considera que un pozo posee buen rendimiento cuando su eficiencia supera el 70 %, el rendimiento es intermedio si la eficiencia esta entre el 50 y 70 % y es bajo si la eficiencia es menor al 50%.

Y como balance económico se obtuvo una tasa de interés del 10%, se obtuvo un valor presente neto de \$. 430 906.20 y con un TIR de 17.019 % y un costo beneficio de 1.73, el cual hace referencia que este método es rentable para las perforaciones tubulares.

Este valor presente neto (VPN) hallado muestra claramente que el método de perforación de inyección de aire con fluido minimiza los costos y se ve reflejado en mejores ganancias debido principalmente a que el mismo es positivo para cualquier tasa de oportunidad (TIR) posible generada por este método de mejora lo cual indica claramente la rentabilidad del mismo para cualquier proyecto de perforación.

En la operación de los trabajos de perforación, el empleador debe garantizar se establezcan los medios y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, y de aquellos que se encuentran dentro del centro de labores, por ende, el empleador debe dar cumplimiento a la ley N° 29783 "Ley de Seguridad y Salud en el trabajo". De igual manera el empleador debe garantizar no causar un impacto negativo al ambiente durante las actividades del centro de labores, para garantizar la calidad en las instalaciones, los equipos, materiales y accesorios que la conforman, deben ser

comprados a empresas certificadas y los trabajos de soldadura deben ser realizados por un técnico soldador homologado según requerimiento.

Es importante recalcar que este trabajo sirve como un lineamiento o camino para la correcta explotación sostenible o ecológica de los pozos de agua subterránea, así mismo se debe crear plan de manejo o gestión, planes o programas del uso eficiente y ahorro del agua, todo esto para crear una correcta utilización de un recurso tan importante como es el agua, tales planes permitirán no solo un correcto aprovechamiento, también impedirán que la recarga natural de los acuíferos se prolongue.

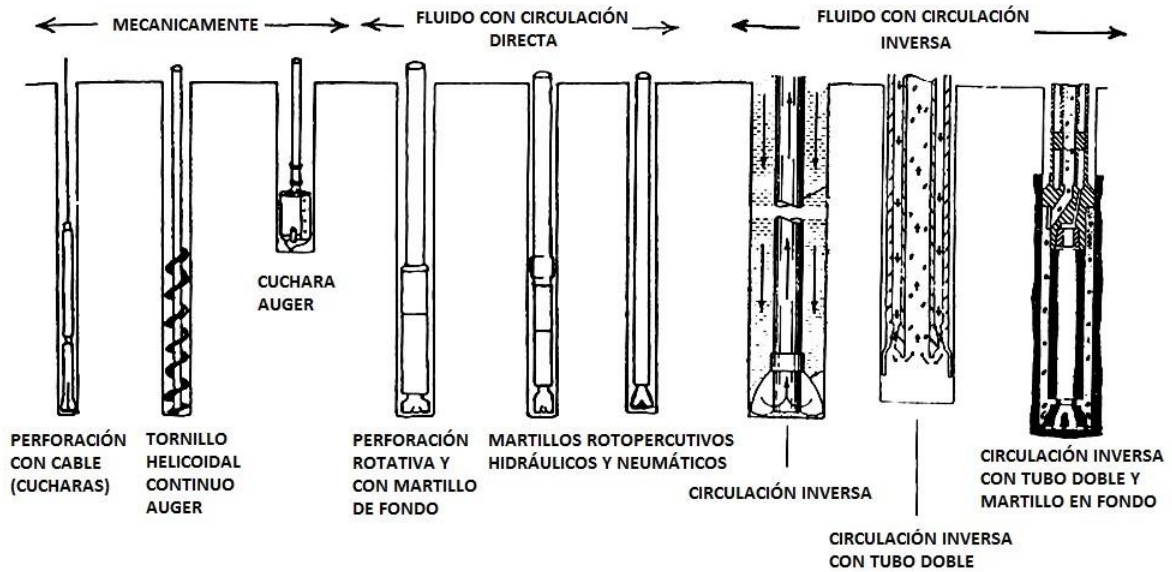
REFERENCIAS

- Aacken, M. V. (12 de Febrero de 2017). *Cómo perforar agujeros de gran diámetro a través de formaciones de circulación perdidas en una sola pasada*. Obtenido de www.boartlongyear.com/es/insite/how-to-drill-large-diameter-holes-through-lost.
- Abel, B. (2004). Manual de perforacion manual de pozos y Equipamiento con bpombas manuales. Lima.
- Agua, A. N. (s.f.). Obtenido de www.ana.gob.pe
- Agua, A. N. (s.f.). Obtenido de www.ana.gob.pe
- Agumarket. (s.f.). *¿Es el Slot 40 la solución mágica para todos los pozos?* Obtenido de <https://www.agumarket.com/sql/temas-interes/138.asp>
- Alva, J. (2017). Aplicación de sistema de pozos tubulares de un centro de acopio de camote – Santa. Chimbote : Universidad San Pedro.
- Bellido, A. (2004). MANUAL DE PERFORACIÓN MANUAL DE POZOS Y equipamiento con bombas manuales. Lima.
- Boartlongyear. (2017). *Galeria de imagenes de boartlongyear*. Obtenido de <https://www.boartlongyear.com/es/company/press-room/image-gallery/>
- Boartlongyear. (2017). *Perforacion rotativa-boartlongyear*. Obtenido de <https://www.boartlongyear.com/es/drillingservice/rotary-drilling/>
- Castro, E., & Garcia, R. F. (2018). *Exploracion geofisica y tecnicas de perforacion*. España: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Minas y Energia. Obtenido de http://oa.upm.es/40237/1/PFG_DIEGO_GONZALEZ_CABRERO.pdf
- Chavez , F. (2017). Estudio hidrogeológico para sustentar la disponibilidad hídrica subterránea para pozo tubular de reemplazo - Monsanto Perú - Villacuri - Ica. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- CoreLoreto. (2018). *Realizan perforacion de pozo tubular en comunidad Tumbes*. Loreto - Perú. Obtenido de <http://www.regionloreto.gob.pe/realizan-perforacion-de-pozo-tubular-en-comunidad-tumbes/>
- Correo. (2017). *GRL mandó al agua cerca de un millón de soles*. Lambayeque: Diario el Correo.
- Custodio, E., & LLamas, M. (1983). Hidrologia Subterránea. Barcelona : Ediciones Omega S.A. .
- Delgado, R. (2015). *Sarta de Perforacion*. Perú: Fundacion Universidad de America. Obtenido de https://www.academia.edu/24303421/SARTA_DE_PERFORACI%C3%93N
- Fernandez, F. (2017). MANUAL DE PERFORACIÓN DE POZOS TUBULARES PARA LA INVESTIGACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL "SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ". Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/30079726/Pozos-tubulares>
- Galecio, E. (2018). Exploración hidrogeológica para la ejecución de una obra de captación de agua subterránea en el predio progreso bajo, distrito de castilla, provincia y departamento de Piura - Perú. Piura: Universidad Nacional de Piura .
- Garcia , D. (2017). *Funciones del Fluido de Perforación*. España: SlideShare. Obtenido de <https://es.slideshare.net/PerfoBloggerAch/funciones-del-fluido-de-perforacin>
- Gómez, R. (2012). Optimización de la perforación y voladura para la minimización de los costos operativos en la unidad El Porvenir de la Compañía Minera Milpo S.A. Huancayo - Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3170/Gomez%20Canchihuaman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, D. (2016). Evaluación de los parámetros de perforación en barrenos y correlación con la geología del terreno. España: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Minas y Energia.
- Guerrero , M. (2019). Diseño del sistema de agua potable en el caserío Pedregal, distrito de buenos aires, provincia de Morropón, Región Piura, abril 2019. Piura: Universidad Catolica Los Angeles Chimbote .

- Ibañez, J. (2015). Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio la Mojana. Colombia: Universidad Catolica de Colombia .
- Jason, L. (2017). *Metodo unico de perforacion para desarrollar pozos de agua*. Obtenido de <https://www.boartlongyear.com/es/insite/unique-drilling-method-used-in-water-wells/>
- Iama, I. i. (2020). Obtenido de <https://www.impolama.com/linea-de-vapor-y-conduccion/>
- Lamb, J. (2017). Obtenido de Metodo unico de perforacion para desarrollar pozos de agua: <https://www.boartlongyear.com/es/insite/unique-drilling-method-used-in-water-wells/>
- Lamb, J. (2017). *Metodo unico de perforacion utilizado para desarrollar pozos de agua*. Obtenido de <https://www.boartlongyear.com/es/insite/unique-drilling-method-used-in-water-wells/>
- López, C. (1991). "Manual de Perforación y Voladura". Madrid. España: ITGE. Ministerio de Industria y Energía de España.
- Magdalena. (2014). *Perforar un pozo de agua tiene ciencia y arte*. Colombia: EL Heraldo.
- Moreno, G. (2017). Perforación de pozos de petróleo con la técnica no convencional Casing Drilling. Bucaramanga - Colombia : Universidad Industrial de Santander .
- Mostacero, E., & Rodríguez, N. (2017). Optimizacion del diseño de perforacion y voladura, para reducir costos en labores de avance en la mina santa maria - poderosa s.a. Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9318>
- Oilfield Review. (2010). Perforación con presión controlada.
- Pacahuala, M. (2015). REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS EN DESARROLLOS MEDIANTE ACTUALIZACIÓN DE ESTÁNDARES EN PERFORACION Y VOLADURA, CASO DE LA EMPRESA ESPECIALIZADA MINCOTRALL S.R.L. Huancayo - Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2179/Pacahuala%20Aguirre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pazcona, J. (2014). *Perforación y terminación de pozos petroleros*. Bogota.
- Perez, J. (2013). *Lodos de perforacion*. Venezuela: SlideShare.
- Ramírez, D. (2015). ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE PRÁCTICAS OPERACIONALES EN LA PERFORACIÓN DE POZOS DEL ORIENTE ECUATORIANO PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPO NO PRODUCTIVO Y DE TIEMPO INVISIBLE ILT". LA LIBERTAD- ECUADOR: UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA. Obtenido de <http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1627/1/ESTUDIO%20DE%20OPTIMIZACION%20DE%20PRACTICAS%20OPERACIONALES%20EN%20LA%20PERFORACION%20DE%20POZOS%20DEL%20ORIENTE%20ECUATORIANO%20PARA%20LA%20REDUCCION%20DE%20TIEMPO%20NO%20PRODUCTIVO>
- Saez, E. (2016). *Perforadora hidráulica para sitios difíciles*. Panama: Construccion Pan - America.
- Sierra, C. (1999). PERFORACIÓN ROTATORIA: FUNDAMENTOS Y DISEÑOS. MEDELLÍN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Valer, F. (2007). "Geología y Geoestadística". Madrid.: Ed. Omega, .
- Van, M. (14 de Agosto de 2017). Obtenido de Como perforar agujeros de gran diametro a traves de formaciones en una sola pasda: <https://www.boartlongyear.com/es/insite/how-to-drill-large-diameter-holes-through-lost-circulation-formations-in-a-single-pass/>
- Villafani, H. (2014). *Mejoramiento de la perforacion en zonas de baja presion*. Peru: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Villafani, H. (2014). *Mejoramiento de la perforacion en zonas de baja presion*. LIMA-PERÚ: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.
- Villafani, H. (2014). *Mejoramiento de la presion en zonas de baja presion*. Peru: Universidad Nacional de Ingenieria.

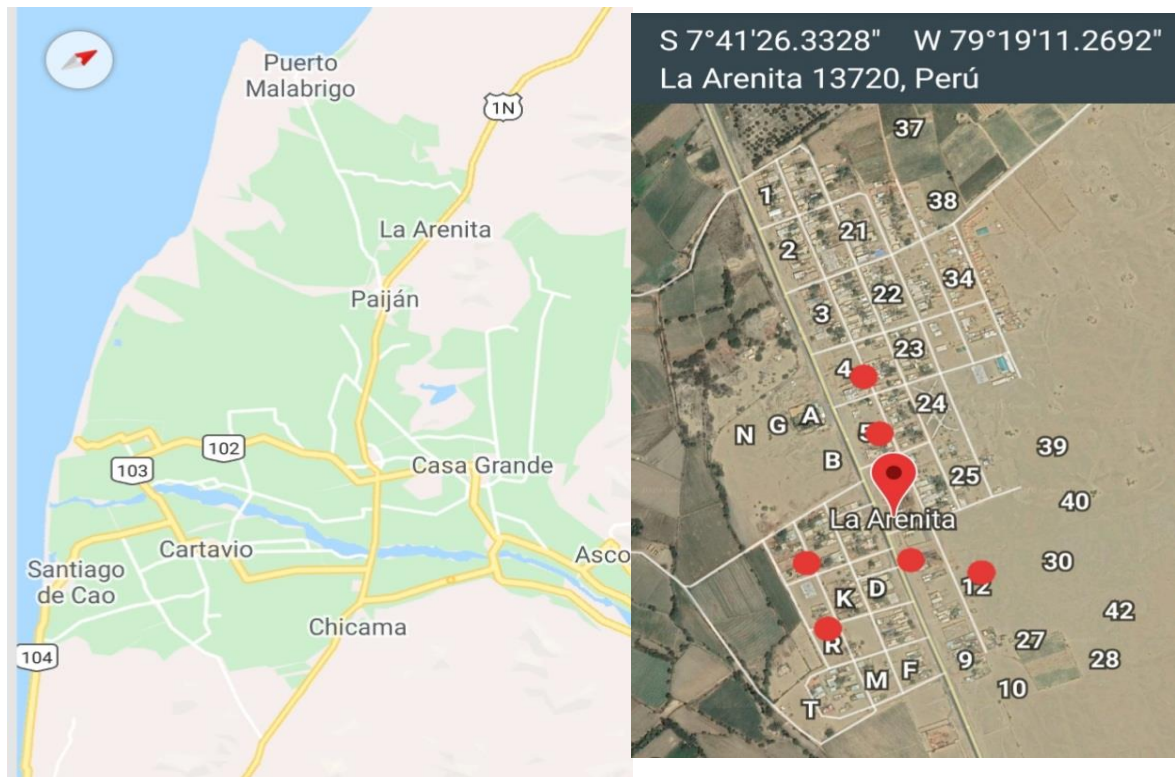
ANEXOS

Anexo 1



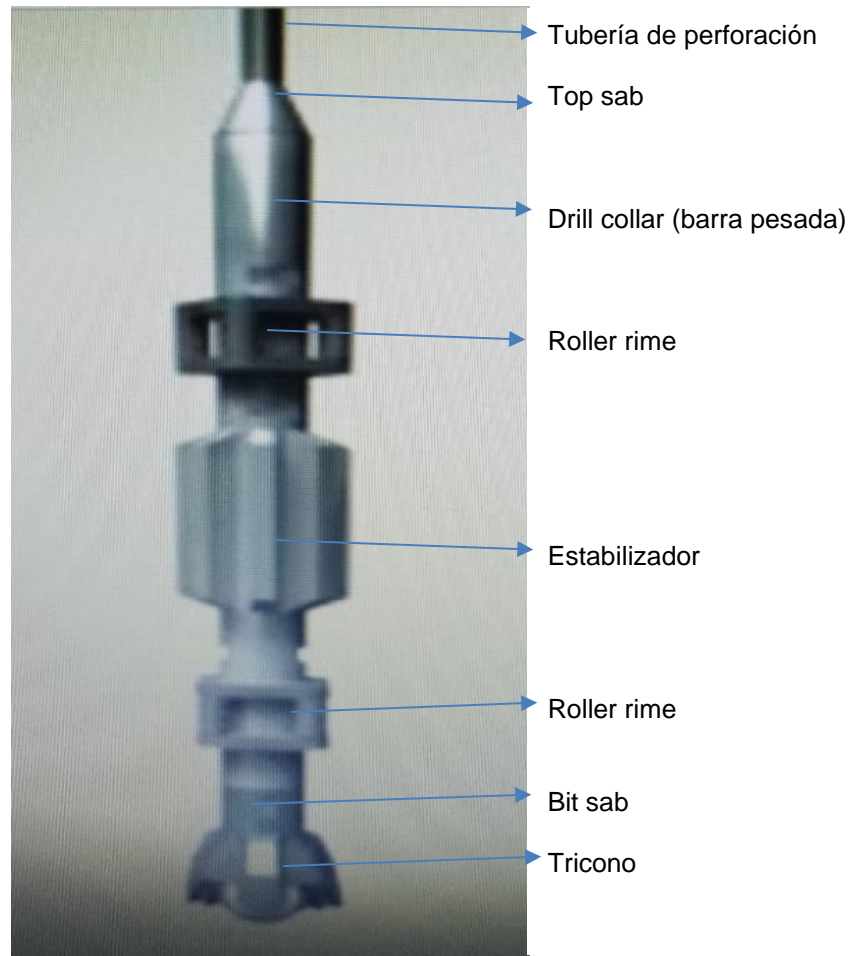
*Cuadro indicativo de distintas técnicas de perforación.
Fuente: González (2016)*

Anexo 2



*Mapa de ubicación de la comunidad agrícola
Fuente: Autoridad Nacional del Agua*

Anexo 3



Sarta de perforación
Fuente: Boartlongyear

Anexo 4



Máquina perforadora
Fuente: Environmental wáter and service

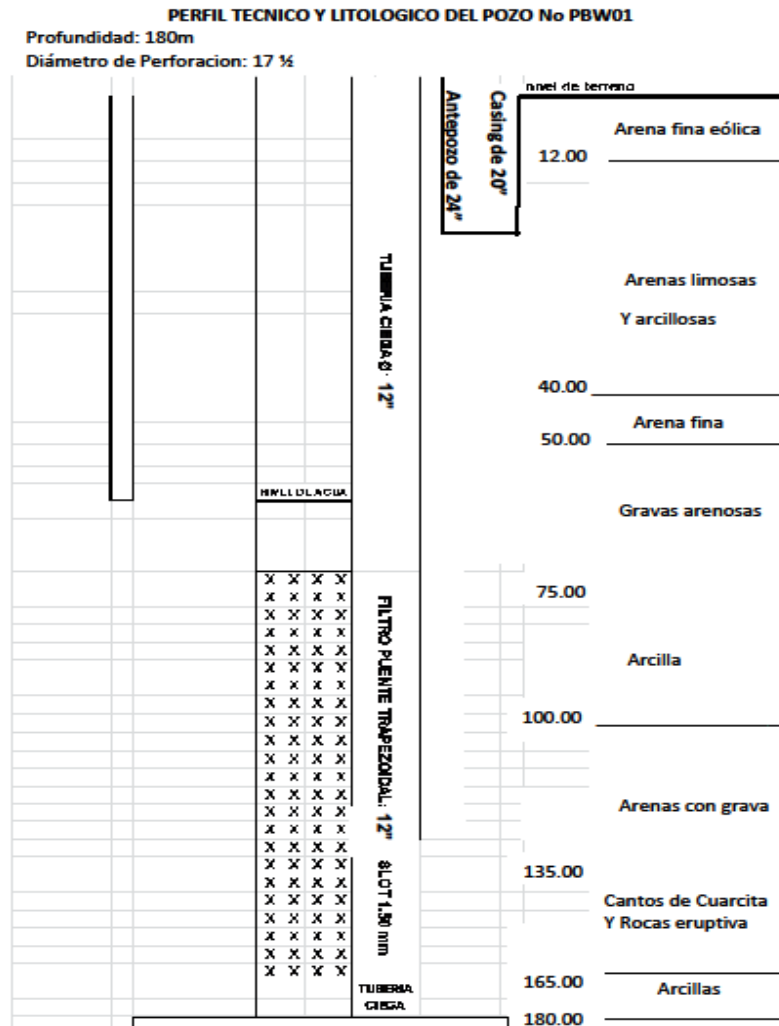
Anexo 5

<i>Pozo PBW01</i> <i>Profundidad: 180m</i> <i>Diámetro de perforación: 17 ½" Convencional</i>	
<i>Rango de metraje</i>	<i>litología</i>
<i>0m – 12m</i>	<i>Arena fina eólica</i>
<i>12m – 40m</i>	<i>Arena limosas y arcillosas</i>
<i>40m – 50m</i>	<i>Arena fina</i>
<i>50m – 75m</i>	<i>Gravas arenosas</i>
<i>75m – 100m</i>	<i>Arcilla</i>
<i>100m – 135m</i>	<i>Arenas con grava</i>
<i>135m – 165m</i>	<i>Cantos de cuarcitas y rocas eruptivas</i>
<i>165m – 180m</i>	<i>Arcillas</i>

Litología del pozo PBW01, perforación convencional

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 6



Perfil técnico y litología del pozo PBW01, perforación convencional
 Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 7

Ingreso de fluido al pozo	Salida de fluido del taladro
Densidad 8.7 a 8.9 lpg	Densidad 9.5 a 10 lpg
Viscosidad 55 a 60 seg/qtogal	Viscosidad 75 a 80
Filtración 6 a 8 ml/30 minutos	Filtración 14 a 16 ml/30 minutos
Contenido de solidos 1 a 1.5 %	Contenido de solidos 8 a 10 %
100 % de ingreso de fluido	70 % de salida de fluidos
Perdida de fluido con el sistema convencional 30 a 40 %, pérdidas significativas	

Resultados de las pérdidas del fluido de perforación con el método convencional

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 8

Tarea	Descripción	Total, en Horas	Tiempos perdidos
Antepozo, perforacion con tricono de 24"	Primeros 6 metros, 4 horas 12 metros perforados 15 horas aprox. 18 metros perforados	19 horas	
BAJADO CASSING 20"	Bajar 01 casing 1.30 minutos aprox. Bajar 03 casing soldando entre casing y casing bajar 03 casing 18 m. de 20" x 6 m.	4.50 horas	
CEMENTADO Y PREPARACION	Preparación de lechada de cemento en el Mixer y echado al pozo, primeros 18 metros 4 horas. Fraguado de cemento 12 horas	16 horas	
PERFORACION CON TRICONO 17.1/2"	08 metros por turno de 12 horas aprox, se realiza turno día y noche. Se perfora con broca 17 1/2" desde los 18 a 180 mts 162 m. con broca 17 1/2". <i>* Tiempos perdidos por pérdidas de fluido, desprendimiento de la formación, baja velocidad de penetración y poca recuperación y limpieza del pozo.</i>	243 horas	72 horas
BAJADO BARRAS Y MONTAJE	Dependiendo de la profundidad, 18 m.	4 horas	
SACADO BARRAS Y MONTAJE	De la profundidad de fin de pozo	6 horas	
BAJADO BQ	Bajado de la línea de BQ hasta la profundidad requerida, 2 horas	2 horas	
BAJADO CASSING 12"	Tres turnos de 12 horas aprox. (soldando entre tubos por 40 a 45 minutos por tubo) <i>* Bajado lento debido a la poca limpieza del pozo</i>	36 horas	8 horas
ENGRAVILLAR	Tres turnos de 12 horas aprox.	36 horas	
ECHAR RING FREE	Por tramos de 6 metros, dependiendo la cantidad de tubos ranurados	4 horas	
REPOSO Y AGITADO	Por 12 horas, debido a bastante sedimento y aditivos en el pozo. <i>* Tubo que reposar más 12 horas debido a los sedimentos y fluidos</i>	12 horas	12 horas
DESARROLLO DE POZO	Lavado de pozo se realiza en forma ascendente, de abajo hacia arriba, dependiendo el porcentaje de arena o finos en el agua. Por 3 días <i>*el desarrollo se realizó 2 días más por la cantidad de fluidos y sedimentos que contenía el pozo</i>	72 horas	48 horas
AIR LIFF FINAL	Soplado con aire continuo <i>*se realizó por dos horas más la prueba</i>	2 horas	2 horas
SACADO DE BARRAS	Se retira todas las barras por termino de pozo	2 horas	
DESMONTAJE DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	Se procede con el recojo de los accesorios y equipos, como echar La torre de la máquina, herramientas, barras de perforación, orden y limpieza de plataforma, posterior traslado de los equipos, 6 horas	6 horas	
	Total, en horas	464.5	142
	Total, en días	19.00	6.00
Total general en realizar el trabajo del pozo en días		25 días	

Resultado de actividades de perforación por el método convencional

Fuente: Autoridad Nacional del Agua
Anexo 9

Régimen	Nivel		RPM	Caudal Lt/seg	Tiempo Acumulado	Obs
	Estático	Dinámico				
	76.00					
I		82.00	1,100	23.40	48.00	Inicio 12:30 pm del primer día
II		90.00	1,300	32.83	72.00	
III		99.00	1,400	40.87	84.00	Final 12:30 pm del cuarto día
IV		107.00	1,500	45.00	96.00	
V		117.00	Proyectado	50.55		
VI		130.00	Proyectado	55.00		

Pruebas de Rendimiento del pozo PBW01

<i>Longitud de perforación</i>	<i>180m</i>
<i>Diámetro de perforación Antepozo</i>	<i>24"</i>
<i>Diámetro de pozo</i>	<i>17 ½"</i>
<i>Diámetro del casing de producción</i>	<i>12"</i>
<i>Longitud de columna de producción</i>	<i>160m</i>
<i>Longitud de casing ciego</i>	<i>93.30m</i>
<i>Longitud de casing ranurado</i>	<i>66.70m</i>
<i>Espesor del filtro de grava</i>	<i>2.75"</i>
<i>Nivel estático del agua</i>	<i>76m</i>
<i>Nivel dinámico máximo obtenido</i>	<i>130m</i>
<i>Caudal máximo obtenido</i>	<i>55 lt/seg</i>

Características del pozo tubular terminado PBW01 con el método convencional

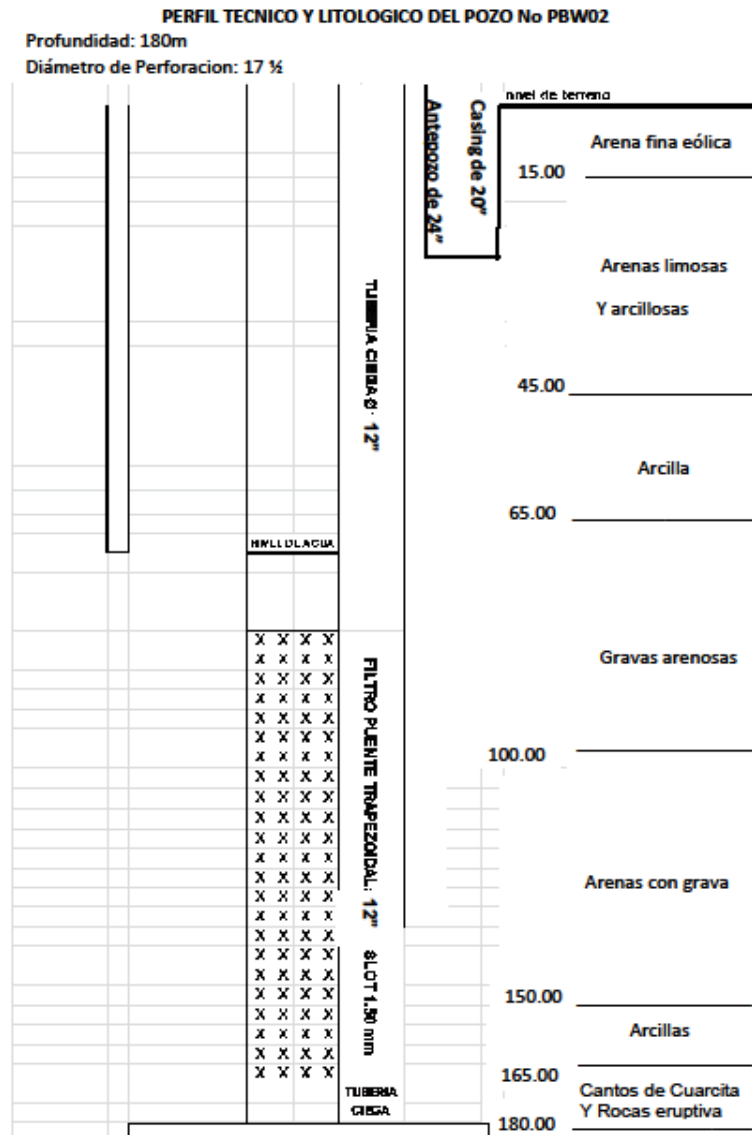
Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 10

<p><i>Pozo PBW02</i> <i>Profundidad: 180m</i> <i>Diámetro de perforación: 17 ½" Inyección de aire y fluido</i></p>	
<i>Rango de metraje</i>	<i>litología</i>
<i>0m – 15m</i>	<i>Arena fina eólica</i>
<i>15m – 45m</i>	<i>Arena limosas y arcillosas</i>
<i>45m – 65m</i>	<i>Arcilla</i>
<i>65m – 100m</i>	<i>Gravas arenosas</i>
<i>100m – 150m</i>	<i>Arenas con grava</i>
<i>150m – 165m</i>	<i>Arcillas</i>
<i>165m – 180m</i>	<i>Cantos de cuarcitas y rocas eruptivas</i>

Litología del pozo PBW02, perforación Inyección de aire y fluido
Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 11



Perfil técnico y litología del pozo PBW02 con inyección de aire y fluido
 Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 12

Ingreso de fluido al pozo	Salida de fluido del taladro
Densidad 8.7 a 8.9 lpg	Densidad 8.9 a 9 lpg
Viscosidad 55 a 60 seg/qtogal	Viscosidad 50 a 55 seg/qtogal
Filtración 6 a 8 ml/30 minutos	Filtración 4 a 6 ml/30 minutos
Contenido de solidos 1 a 1.5 %	Contenido de solidos 0.2 a 0.5 %
100 % de ingreso de fluido	90 a 95 % de salida de fluidos
Perdida de fluido con el sistema de inyección de aire y fluido 5 % dentro de lo normal	

Resultados de las pérdidas del fluido de perforación con inyección de aire y fluido
Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 13

Tarea	Descripción	Total, en Horas	Tiempos perdidos
Antepozo, perforación con tricono de 24"	Primeros 6 metros, 4 horas 12 metros perforados 15 horas aprox. 18 metros perforados	19 horas	
BAJADO CASSING 20"	Bajar 01 casing 1.30 minutos aprox. Bajar 03 casing soldando entre casing y casing bajar 03 casing 18 m. de 20" x 6 m.	4.50 horas	
CEMENTADO Y PREPARACION	Preparación de lechada de cemento en el Mixer y echado al pozo, primeros 18 metros 4 horas. Fraguado de cemento 12 horas	16 horas	
PERFORACION CON TRICONO 17.5"	11 metros por turno de 12 horas aprox, se realiza turno día y noche. Se perfora con broca 17 ½" desde los 18 a 180 mts 162 m. con broca 17 ½".	177 horas	
BAJADO BARRAS Y MONTAJE	Dependiendo de la profundidad, 18 m.	4 horas	
SACADO BARRAS Y MONTAJE	De la profundidad de fin de pozo	6 horas	
BAJADO BQ	Bajado de la línea de BQ hasta la profundidad requerida, 2 horas	2 horas	
BAJADO CASSING 12"	Tres turnos de 12 horas aprox. (soldando entre tubos por 40 a 45 minutos por tubo)	36 horas	
ENGRAVILLAR	Tres turnos de 12 horas aprox.	36 horas	
ECHAR RING FREE	Por tramos de 6 metros, dependiendo la cantidad de tubos ranurados	4 horas	
REPOSO Y AGITADO	Por 12 horas, debido a bastante sedimento y aditivos en el pozo.	12 horas	
DESARROLLO DE POZO	Lavado de pozo se realiza en forma ascendente, de abajo hacia arriba, por 4 horas, dependiendo el porcentaje de arena o finos en el agua. Por 5 días	120 horas	
AIR LIFF FINAL	Soplado con aire continuo	2 horas	
SACADO DE BARRAS	Se retira todas las barras por termino de pozo	2 horas	
DESMONTAJE DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	Se procede con el recojo de los accesorios y equipos, como echar La torre de la máquina, herramientas, barras de perforación, orden y limpieza de plataforma, posterior traslado de los equipos, 6 horas	6 horas	
	Total, en horas	446.5	
Total general en realizar el trabajo del pozo en días		19 días	

Desarrollo de actividades de perforación con el método de aire y fluido
Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo 14

Régimen	Nivel		RPM	Caudal	Tiempo	Obs
	Estático	Dinámico		Lt/seg	Acumulado	
	71.00					
I		82.00	1,100	27.32	48.00	Inicio 12:30 pm del primer día
II		90.00	1,300	35.63	72.00	
III		99.00	1,400	47.76	84.00	Final 12:30 pm del cuarto día
IV		107.00	1,500	55.00	96.00	
V		117.00	Proyectado	60.25		
VI		156.00	Proyectado	67.00		

Pruebas de Rendimiento del pozo PBW01

<i>Longitud de perforación</i>	<i>180m</i>
<i>Diámetro de perforación Antepozo</i>	<i>24"</i>
<i>Diámetro de pozo</i>	<i>17 ½"</i>
<i>Diámetro del casing de producción</i>	<i>12"</i>
<i>Longitud de columna de producción</i>	<i>160m</i>
<i>Longitud de casing ciego</i>	<i>87.40m</i>
<i>Longitud de casing ranurado</i>	<i>72.60m</i>
<i>Espesor del filtro de grava</i>	<i>2.75"</i>
<i>Nivel estático del agua</i>	<i>71m</i>
<i>Nivel dinámico máximo obtenido</i>	<i>156m</i>
<i>Caudal máximo obtenido</i>	<i>67 lt/seg</i>

Características del pozo tubular terminado PBW02 con inyección de aire y fluido

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Anexo N° 15



Mixer



Zaranda

Anexo N° 17.



Tubería de perforación de doble tubo de 7" Matrix



Accesorios de perforación (llaves "U" de sostenimiento)

Anexo N° 19



Llave tonga de rotura y ajuste



Roller rime

Anexo N° 21



Estabilizador

Anexo N° 22



Drill collars o barras de peso

Anexo N° 23



Perforación de pozos tubulares

Anexo N° 24



Preparación e instalación de casing de 20” para ante pozo



Preparación de fluido de perforación

Anexo N° 26

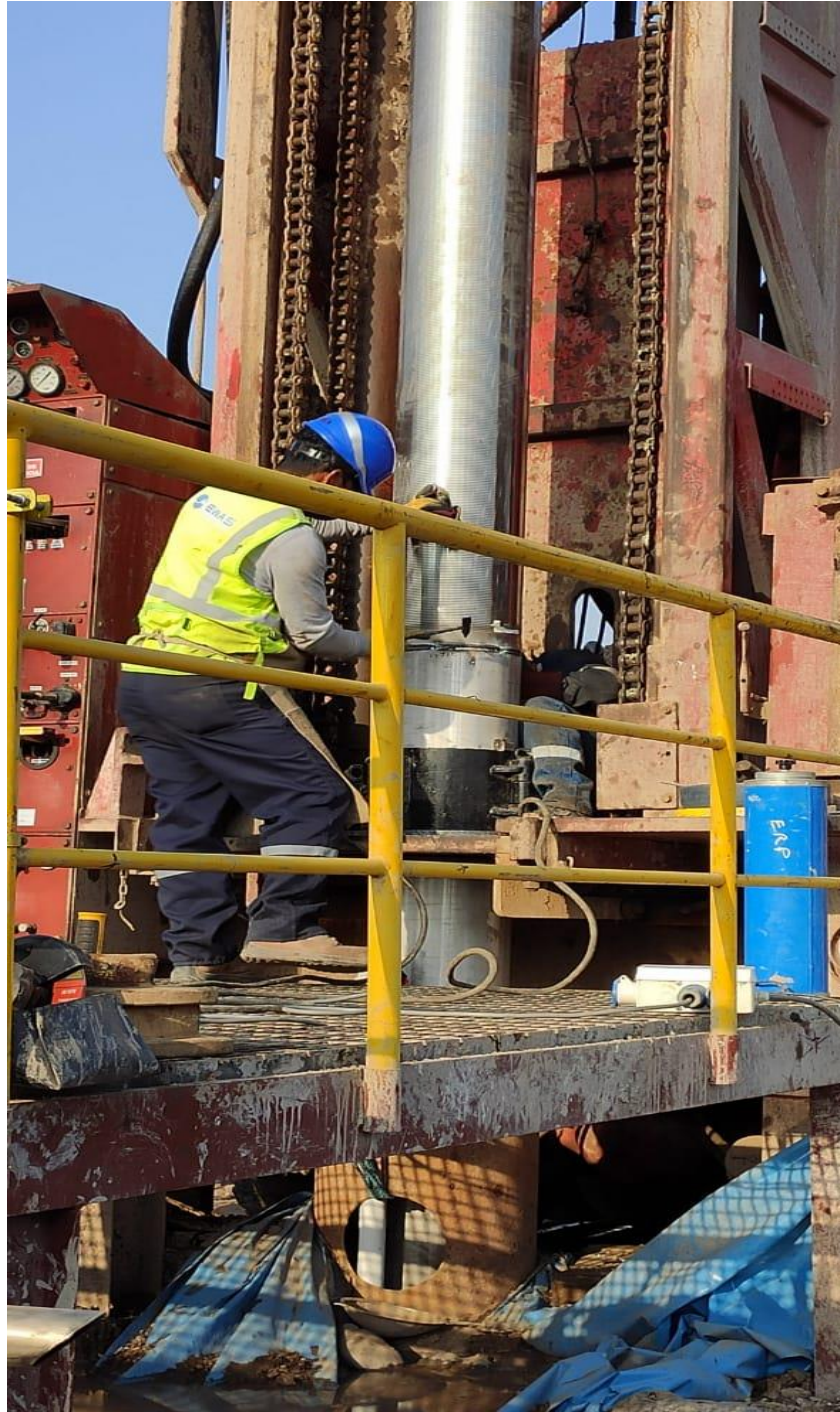


Medición de parámetros de fluido de perforación



Prueba se verticalidad y diagrafia del pozo

Anexo N° 28



Instalación de casing inox de 12"

Anexo N° 29



Engravillado de pozo